

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2987140号

(45) 発行日 平成11年(1999)12月6日

(24) 登録日 平成11年(1999)10月1日

(51) Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	F I
H 0 1 J 1/30		H 0 1 J 1/30 M
9/02		9/02 M
19/24		19/24
21/10		21/10
29/04		29/04

請求項の数14(全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平10-272340	(73) 特許権者	000005832 松下電工株式会社 大阪府門真市大字門真1048番地
(22) 出願日	平成10年(1998)9月25日	(72) 発明者	菰田 卓哉 大阪府門真市大字門真1048番地松下電工株式会社内
(65) 公開番号	特開平11-329213	(72) 発明者	越田 信義 東京都小平市上水本町6-5-10-203
(43) 公開日	平成11年(1999)11月30日	(74) 代理人	弁理士 西川 恵清 (外1名)
審査請求日	平成10年(1998)10月5日	審査官	波多江 進
(31) 優先権主張番号	特願平9-297108		
(32) 優先日	平9(1997)10月29日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		
(31) 優先権主張番号	特願平10-65592		
(32) 優先日	平10(1998)3月16日		
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電界放射型電子源およびその製造方法および平面発光装置およびディスプレイ装置および固体真空デバイス

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 導電性基板と、導電性基板の一表面側に形成され酸化されたナノメートル単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されてなることを特徴とする電界放射型電子源。

【請求項2】 導電性基板と、導電性基板の一表面側に形成され窒化されたナノメートル単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を

2

通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されてなることを特徴とする電界放射型電子源。

【請求項3】 上記多孔質のポリシリコン層は、多孔度の高いポリシリコン層と多孔度の低いポリシリコン層とが交互に積層された層であることを特徴とする請求項1または請求項2記載の電界放射型電子源。

【請求項4】 上記多孔質のポリシリコン層は、厚み方向に多孔度が連続的に変化した層であることを特徴とする請求項1または請求項2記載の電界放射型電子源。

【請求項5】 上記多孔質のポリシリコン層は、表面側に比べて導電性基板側の多孔度が高くなるように厚み方向に多孔度が連続的に変化した層であることを特徴とする請求項1または請求項2記載の電界放射型電子源。

【請求項6】 上記ポリシリコン層は、ノンドープのポリシリコン層であることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の電界放射型電子源。

【請求項7】 導電性基板は、一表面に導電性薄膜が形成された基板からなることを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれかに記載の電界放射型電子源。

【請求項8】 請求項1記載の電界放射型電子源の製造方法であって、導電性基板上にポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を酸化し、酸化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成することを特徴とする電界放射型電子源の製造方法。

【請求項9】 請求項2記載の電界放射型電子源の製造方法であって、導電性基板上にポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を窒化し、窒化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成することを特徴とする電界放射型電子源の製造方法。

【請求項10】 上記ポリシリコン層の多孔質化にあたっては、多孔度の高いポリシリコン層と多孔度の低いポリシリコン層とが交互に積層されるように多孔質化の条件を変化させることを特徴とする請求項8または請求項9記載の電界放射型電子源の製造方法。

【請求項11】 上記ポリシリコン層の多孔質化にあたっては、表面側に比べて導電性基板側の多孔度が高くなり厚み方向に多孔度が連続的に変化するように多孔質化の条件を変化させることを特徴とする請求項8または請求項9記載の電界放射型電子源の製造方法。

【請求項12】 請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発生する蛍光体が上記透明電極に設けられて成ることを特徴とする平面発光装置。

【請求項13】 請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源をマトリクス状に構成し、各電界放射型電子源に印加する上記電圧をそれぞれ制御する手段と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発生する蛍光体が上記透明電極に設けられて成ることを特徴とするディスプレイ装置。

【請求項14】 少なくとも請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と陽極とが真空容器中に配設されて成ることを特徴とする固体真空デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体材料を用いて電界放射により電子線を放射するようにした電界放射型電子源およびその製造方法、および電界放射型電子源を利用した平面発光装置およびディスプレイ装置および固体真空デバイスに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来より、電界放射型電子源として、例えば米国特許3665241号などに開示されているいわゆるスピント (Spindt) 型電極と呼ばれるものがある。このスピント型電極は、微小な三角錐状のエミッタチップを多数配置した基板と、エミッタチップの先端部を露出させる放射孔を有するとともにエミッタチップに対して絶縁された形で配置されたゲート層とを備え、真空中にてエミッタチップをゲート層に対して負極として高電圧を印加することにより、エミッタチップの先端から放射孔を通して電子線を放射するものである。

【0003】 しかしながら、スピント型電極は、製造プロセスが複雑であるとともに、多数の三角錐状のエミッタチップを精度良く構成することが難しく、例えば平面発光装置やディスプレイなどへ応用する場合に大面積化が難しいという問題があった。また、スピント型電極は、電界がエミッタチップの先端に集中するので、エミッタチップの先端の周りの真空度が低くて残留ガスが存在するような場合、放射された電子によって残留ガスがプラスイオンにイオン化され、プラスイオンがエミッタチップの先端に衝突するから、エミッタチップの先端がダメージ (例えば、イオン衝撃による損傷) を受け、放射される電子の電流密度や効率などが不安定になったり、エミッタチップの寿命が短くなってしまいうという問題が生じる。したがって、スピント型電極では、この種の問題の発生を防ぐために、高真空 (約  $10^{-3}$  Pa ~ 約  $10^{-6}$  Pa) で使用する必要があり、コストが高くなるとともに、取扱いが面倒になるという不具合があった。

【0004】 この種の不具合を改善するために、MIM (Metal Insulator Metal) 方式やMOS (Metal Oxide Semiconductor) 型の電界放射型電子源が提案されている。前者は金属-絶縁膜-金属、後者は金属-酸化膜-半導体の積層構造を有する平面型の電界放射型電子源である。しかしながら、このタイプの電界放射型電子源において電子の放射効率を高めるためには (多くの電子を放射させるためには)、上記絶縁膜や上記酸化膜の膜厚を薄くする必要があるが、上記絶縁膜や上記酸化膜の膜厚を薄くしすぎると、上記積層構造の上下の電極間に電圧を印加した時に絶縁破壊を起こす恐れがあり、このような絶縁破壊を防止するためには上記絶縁膜や上記酸化膜の膜厚の薄膜化に制約があるので、電子の放出効率 (引き出し効率) をあまり高くできないという不具合があった。

【0005】 また、近年では、特開平8-250766号公報に開示されているように、シリコン基板などの単結晶の半導体基板を用い、その半導体基板の一表面を陽極酸化することにより多孔質半導体層 (例えば、ポーラスシリコン層) を形成して、その多孔質半導体層上に金属薄膜を形成し、半導体基板と金属薄膜との間に電圧を印加して電子を放射させるように構成した電界放射型電

子源（半導体冷電子放出素子）が提案されている。

【0006】また、特開平9-259795号公報には、上記特開平8-250766号公報に開示されている構成の電界放射型電子源（半導体冷電子放出素子）を有する冷電子放出表示装置が提案されている。なお、この冷電子放出表示装置においては、単結晶シリコン基板の〔100〕方向が表面に垂直に配向していることが、ポーラスシリコン層の電子放出効率の点で好ましいとされている。この理由としては、単結晶シリコンの（100）基板を陽極酸化すると、表面から深さ数 $\mu\text{m}$ にわたって孔が形成され、孔およびシリコン結晶が表面に垂直に配向するからであると推定されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述の特開平8-250766号公報に記載の電界放射型電子源では、基板が半導体基板に限られるので、大面積化やコストダウン化が難しいという不具合がある。また、特開平8-250766号公報および特開平9-259795号公報に記載の電界放射型電子源では電子放出時にいわゆるポッピング現象が生じやすく、放出電子量にむらが生じやすいため、平面発光装置やディスプレイ装置などに応用すると、発光むらが生じてしまうという不具合がある。

【0008】本発明は上記事由に鑑みて為されたものであり、その目的は、電子を安定して高効率で放出できる低コストの電界放射型電子源およびその製造方法および平面発光装置およびディスプレイ装置および固体真空デバイスを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明は、上記目的を達成するために、導電性基板と、導電性基板の一表面側に形成され酸化されたナノメータ単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されてなることを特徴とするものであり、電圧の印加により生じた熱が上記結晶状態が維持された部分を伝導して外部に放出されて温度上昇が抑制されるので、電子放出特性の真空度依存性が小さく且つ電子放出時にポッピング現象が発生せず安定して高効率で電子を放出することができ、また、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板の他にガラス基板などに導電性膜を形成した基板などを使用することもできるので、従来のように半導体基板を多孔質化した多孔質半導体層を利用する場合やスピント型電極に比べて、電子源の大面積化及び低コスト化が可能になる。

【0010】請求項2の発明は、導電性基板と、導電性

基板の一表面側に形成され酸化されたナノメータ単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されてなることを特徴とするものであり、電圧の印加により生じた熱が上記結晶状態が維持された部分を伝導して外部に放出されて温度上昇が抑制されるので、電子放出特性の真空度依存性が小さく且つ電子放出時にポッピング現象が発生せず安定して高効率で電子を放出することができ、また、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板の他にガラス基板などに導電性膜を形成した基板などを使用することもできるので、従来のように半導体基板を多孔質化した多孔質半導体層を利用する場合やスピント型電極に比べて、電子源の大面積化及び低コスト化が可能になる。

【0011】請求項3の発明は、請求項1または請求項2の発明において、上記多孔質のポリシリコン層は、多孔度の高いポリシリコン層と多孔度の低いポリシリコン層とが交互に積層された層であることを特徴とする。

【0012】請求項4の発明は、請求項1または請求項2の発明において、上記多孔質のポリシリコン層は、厚み方向に多孔度が連続的に変化した層であることを特徴とする。

【0013】請求項5の発明は、請求項1または請求項2の発明において、上記多孔質のポリシリコン層は、表面側に比べて導電性基板側の多孔度が高くなるように厚み方向に多孔度が連続的に変化した層であることを特徴とする。

【0014】請求項6の発明は、請求項1乃至請求項5の発明において、上記ポリシリコン層が、ノンドープのポリシリコン層なので、酸化または窒化された多孔質のポリシリコン層が半絶縁性となり、上記電圧を印加することにより該多孔質のポリシリコン層が強電界となつて、導電性基板側から該多孔質のポリシリコン層に注入された電子がドリフトして該多孔質のポリシリコン層の表面に達し、ホットエレクトロンとして金属薄膜をトンネルすることにより電子が放射されるから、上記ポリシリコン層がドーピングされている場合に比べて高効率で安定して電子を放出することができ、また、ドーピングが不要なので製造が容易になる。

【0015】請求項7の発明は、請求項1乃至請求項6の発明において、導電性基板は、一表面に導電性薄膜が形成された基板からなるので、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板を用いる場合に比べて大面積化及び低コスト化が可能になる。

【0016】請求項8の発明は、請求項1記載の電界放射型電子源の製造方法であつて、導電性基板上にポリシ

10

20

30

40

50

リコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を酸化し、酸化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成することを特徴とし、従来のスピント型電極のような複雑な構造や製造プロセスを必要とせず、比較的簡単な製造プロセスによって電子を安定して高効率で放出できる低コストの電界放射型電子源を提供することができ、また、大面積の電界放射型電子源を提供することができる。

【0017】請求項9の発明は、請求項2記載の電界放射型電子源の製造方法であって、導電性基板上にポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を窒化し、窒化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成することを特徴とし、従来のスピント型電極のような複雑な構造や製造プロセスを必要とせず、比較的簡単な製造プロセスによって電子を安定して高効率で放出できる低コストの電界放射型電子源を提供することができ、また、大面積の電界放射型電子源を提供することができる。

【0018】請求項10の発明は、請求項8または請求項9の発明において、上記ポリシリコン層の多孔質化にあたっては、多孔度の高いポリシリコン層と多孔度の低いポリシリコン層とが交互に積層されるように多孔質化の条件を変化させることを特徴とする。

【0019】請求項11の発明は、請求項8または請求項9の発明において、上記ポリシリコン層の多孔質化にあたっては、表面側に比べて導電性基板側の多孔度が高くなり厚み方向に多孔度が連続的に変化するように多孔質化の条件を変化させることを特徴とする。

【0020】請求項12の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発光する蛍光体が上記透明電極に設けられて成ることを特徴とするものであり、電界放射型電子源から放射される電子の放出角度が金属薄膜の表面に対して略垂直方向にそろうので、収束電極を設ける必要がなく、構造が簡単になるとともに薄型の平面発光装置を実現することができる。

【0021】請求項13の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源をマトリクス状に構成し、各電界放射型電子源に印加する上記電圧をそれぞれ制御する手段と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発光する蛍光体が上記透明電極に設けられて成ることを特徴とするものであり、電界放射型電子源から放射される電子の放出角度が金属薄膜の表面に対して略垂直方向にそろうので、複雑なシャドウマスクや電子収束レンズを設ける必要がなく、高精細なディスプレイ装置を実現することができる。

【0022】請求項14の発明は、少なくとも請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と陽

極とが真空容器中に配設されて成ることを特徴とするものであり、電界放射型電子源が冷陰極を構成するから、従来の熱電子放射を利用した熱陰極を有する固体真空デバイスのように加熱手段を設ける必要がなく、小型化が可能になるとともに陰極物質の蒸発や劣化を抑制することができ、長寿命の固体真空デバイスを実現することができる。

【0023】ところで、本発明者は、鋭意研究の結果、従来の技術で説明した特開平8-250766号公報および特開平9-259795号公報に記載の構造では、単結晶シリコン基板などの半導体基板の主表面側を多孔質化して電子が注入される多孔質層を形成しているので電界放射型電子源の断熱性が高く、電圧が印加され電流が流れた場合の基板温度の上昇が比較的大きいという知見を得た。さらに、該温度上昇により電子が熱的に励起されるとともに半導体基板の抵抗が下がり、電子の放出量が増えるので、これにより電子放出時にポッピング現象が生じやすく、放出電子量にむらが起こりやすいとの知見を得た。そこで、発明者は、上記知見に基づいて本発明を行った。

【0024】

【発明の実施の形態】（実施形態1）図1に本実施形態の電界放射型電子源10の概略構成図を、図2(a)～(e)に電界放射型電子源10の製造方法における主要工程断面図を示す。なお、本実施形態では、導電性基板としてn形シリコン基板1（抵抗率が略0.1Ωcmの(100)基板）を用いている。

【0025】本実施形態の電界放射型電子源10は、図1に示すように、n形シリコン基板1の主表面上に急速熱酸化されたポリシリコン層5が形成され、該ポリシリコン層5上に急速熱酸化された多孔質ポリシリコン層6が形成され、該多孔質ポリシリコン層6上に金属薄膜たる金薄膜7が形成されている。また、n形シリコン基板1の裏面にはオーミック電極2が形成されている。

【0026】ところで、本実施形態では、導電性基板としてn形シリコン基板1を用いているが、導電性基板は、電界放射型電子源10の負極を構成するとともに真空中において上述の多孔質ポリシリコン層6を支持し、なお且つ、多孔質ポリシリコン層6へ電子を注入するのである。したがって、導電性基板は、電界放射型電子源10の負極を構成し多孔質ポリシリコン層6を支持することができればよいので、n形シリコン基板に限定されるものではなく、クロムなどの金属基板であってもよいし、ガラスなどの絶縁性基板の一表面に導電性膜を形成したものであってもよい。ガラス基板の一表面に導電性膜を形成した基板を用いる場合には、半導体基板を用いる場合に比べて、電子源の大面積化および低コスト化が可能になる。

【0027】また、上述の多孔質ポリシリコン層6は、導電性基板と金属薄膜との間に電圧を印加したときに電

子が注入される層である。多孔質ポリシリコン層6は、多数のグレインよりなる多結晶体であり、各グレインの表面には酸化膜を有するナノメータ単位の構造（以下、ナノ構造と称す）が存在する。多孔質ポリシリコン層6に注入された電子がナノ構造に衝突することなく（つまり、電子散乱することなく）多孔質ポリシリコン層6の表面に到達するためには、ナノ構造の大きさは、単結晶シリコン中の電子の平均自由行程である約50nmよりも小さいものであることが必要である。ナノ構造の大きさは、具体的には10nmより小さいものがよく、好ましくは5nmよりも小さいものがよい。なお、本実施形態では、多孔質ポリシリコン層6は急速熱酸化されているが、急速熱酸化に限定されるものではなく、化学的方法によって酸化してもよく、また、窒化するようにしてもよい。

【0028】また、本実施形態においては、金属薄膜として金薄膜7を用いているが、金属薄膜は、電界放射型電子源10の正極を構成するものであり、多孔質ポリシリコン層6に電界を印加するものである。この電界の印加により多孔質ポリシリコン層6の表面に到達した電子はトンネル効果によって金属薄膜の表面から放出される。したがって、導電性基板と金属薄膜との間に印加する直流電圧によって得られる電子のエネルギーから金属薄膜の仕事関数を差し引いたエネルギーが放出される電子の理想的なエネルギーとなるので、金属薄膜の仕事関数は小さいほど望ましい。なお、本実施形態では、金属薄膜の材料として金を用いているが、金属薄膜の材料は金に限定されるものではなく、仕事関数の小さな金属であればよく、例えば、アルミニウム、クロム、タングステン、ニッケル、白金などを用いてもよい。ここに、金の仕事関数は5.10eV、アルミニウムの仕事関数は4.28eV、クロムの仕事関数は4.50eV、タングステンの仕事関数は4.55eV、ニッケルの仕事関数は5.15eV、白金の仕事関数は5.65eVである。

【0029】以下、製造方法を図2を参照しながら説明する。

【0030】まず、n形シリコン基板1の裏面にオーミック電極2を形成した後、n形シリコン基板1の表面に膜厚が略1.5μmのノンドーブのポリシリコン層3を形成することにより図2(a)に示すような構造が得られる。ポリシリコン層3の成膜は、LPCVD法により行い、成膜条件は、真空度を20Pa、基板温度を640℃、モノシランガスの流量を600sccmとした。なお、ポリシリコン層3の成膜は、導電性基板が半導体基板の場合にはLPCVD法やスパッタ法により行ってもよいし、あるいは、プラズマCVD法によってアモルファスシリコンを成膜した後アニール処理を行うことにより結晶化させて成膜してもよい。また、導電性基板がガラス基板に導電性薄膜を形成した基板の場合には、CVD法により導電性薄膜上にアモルファスシリコンを

成膜した後エキシマレーザでアニールすることにより、ポリシリコン層を形成してもよい。また、導電性薄膜上にポリシリコン層を形成する方法はCVD法に限定されるものではなく、例えばCGS(Continuous Grain Silicon)法や触媒CVD法などを用いてもよい。

【0031】ノンドーブのポリシリコン層3を形成した後、55wt%のフッ化水素水溶液とエタノールとを略1:1で混合した混合液よりなる電解液を用い、白金電極（図示せず）を負極、n形シリコン基板1（オーミック電極2）を正極として、ポリシリコン層3に光照射を行いながら定電流で陽極酸化処理を行うことによって、多孔質ポリシリコン層4（以下、PPS層4と称す）が形成され図2(b)に示すような構造が得られる。なお、本実施形態では、陽極酸化処理の条件として、電流密度を10mA/cm<sup>2</sup>一定、陽極酸化時間を30秒とするとともに、陽極酸化中に500Wのタングステンランプによりポリシリコン層3の表面に光照射を行った。その結果、本実施形態では、膜厚が略1μmの多孔質ポリシリコン層4が形成された。なお、本実施形態では、ポリシリコン層3の一部を多孔質化しているが、ポリシリコン層3全部を多孔質化してもよい。

【0032】次に、急速熱酸化(RTO: Rapid Thermal Oxidation)技術によってPPS層4及びポリシリコン層3の急速熱酸化を行うことにより図2(c)に示す構造が得られる。ここに、図2(c)における5は急速熱酸化されたポリシリコン層を、6は急速熱酸化されたPPS層（以下、RTO-PPS層6と称す）を示す。急速熱酸化の条件としては、酸化温度を900℃、酸化時間を1時間とした。なお、本実施形態では、PPS層4及びポリシリコン層3の酸化を急速熱酸化により行っているため、数秒で酸化温度まで昇温することが可能であり、通常の炉心管タイプの酸化装置で問題となる入炉時の巻き込み酸化を抑制することができる。また、実施形態では、急速熱酸化技術によってPPS層4及びポリシリコン層3を急速熱酸化しているが、急速熱酸化に限らず、化学的方法により酸化してもよし、酸素プラズマにより酸化してもよい。また、酸化の替りに窒化するようにしてもよく、窒化の場合には、窒素プラズマによる窒化や熱的な窒化などの方法を用いればよい。

【0033】次に、RTO-PPS層6上に金属薄膜たる金薄膜7を例えば蒸着により形成することによって、図2(d)(図1)に示す構造の電界放射型電子源10が得られる。ここに、本実施形態では、金薄膜7の膜厚を略10nmとしたが、この膜厚は特に限定するものではない。なお、電界放射型電子源10は金薄膜7を電極の正極(アノード)とし、オーミック電極2を負極(カソード)とするダイオードが構成される。また、本実施形態では、金属薄膜を蒸着により形成しているが、金属薄膜の形成方法は蒸着に限定されるものではなく、例えばスパッタ法を用いてもよい。



【0034】以下、本実施形態の電界放射型電子源10の特性について説明する。

【0035】上述の電界放射型電子源10を真空チャンバ(図示せず)内に導入して、図3に示すように金薄膜7と対向する位置にコレクタ電極21(放射電子収集電極)を配置し、真空チャンバ内の真空度を約 $5 \times 10^{-5}$  Paとして、金薄膜7とオーミック電極2との間に直流電圧 $V_{ps}$ を印加するとともに、コレクタ電極21と金薄膜7との間に直流電圧 $V_c$ を印加することによって、金薄膜7とオーミック電極2との間に流れるダイオード電流 $I_{ps}$ と、電界放射型電子源10から金薄膜7を通して放射される電子 $e^-$ (なお、図3中の一点鎖線は放射電子流を示す)によりコレクタ電極21と金薄膜7との間に流れる放出電子電流 $I_e$ とを測定した結果を図4に示す。ここに、金薄膜7はオーミック電極2(つまり、n形シリコン基板1)に対して正極として直流電圧 $V_{ps}$ を印加し、コレクタ電極21は金薄膜7に対して正極として直流電圧 $V_c$ を印加している。

【0036】図4の横軸は直流電圧 $V_{ps}$ の値を、縦軸は電流密度を示し、同図中のイ(○)がダイオード電流 $I_{ps}$ を、同図中のロ(●)が放出電子電流 $I_e$ を示す。なお、直流電圧 $V_c$ は100V一定とした。

【0037】図4からも分かるように、放出電子電流 $I_e$ は直流電圧 $V_{ps}$ が正のときのみ観測され、直流電圧 $V_{ps}$ の値を増加させるにつれてダイオード電流 $I_{ps}$ 及び放出電子電流 $I_e$ とも増加した。例えば、直流電圧 $V_{ps}$ を15Vとしたとき、ダイオード電流 $I_{ps}$ の電流密度は略 $100 \text{ mA/cm}^2$ 、放出電子電流 $I_e$ の電流密度は略 $10 \mu\text{A/cm}^2$ であり、この放出電子電流 $I_e$ の値は従来例で説明した単結晶シリコン基板の表面を多孔質化することにより実現される電界放射型電子源に比べて大きな値であり(例えば、電子情報通信学会ED96-141, P41-46によれば、直流電圧 $V_{ps}$ を15Vとしたとき、ダイオード電流 $I_{ps}$ の電流密度は略 $40 \text{ mA/cm}^2$ 、放出電子電流 $I_e$ の電流密度は略 $1 \mu\text{A/cm}^2$ である)、本実施形態の電界放射型電子源10の電子の放出効率が高いことが分かる。

【0038】図5に、この放出電子電流 $I_e$ と直流電圧 $V_{ps}$ とに関するデータをFowler-Nordheim(ファウラーノルドハイム)プロットした結果を示す。図5より、各データが直線上にのることから、この放出電子電流 $I_e$ は量子的なトンネル効果による電子の放出による電流であると推考される。このときの電子放出の機構を図6のエネルギーバンド図により説明する。なお、図6中の $n'-\text{Si}$ はn形シリコン基板1を、 $\text{RTO-PPS}$ は上述の $\text{RTO-PPS}$ 層6を、 $\text{SiO}_x$ は $\text{RTO-PPS}$ 層6の最表面に形成された酸化シリコン薄膜、 $\text{Au}$ は金薄膜7を、 $E_F$ はフェルミレベルを、 $E_{vac}$ は真空レベルを、それぞれ示す。また、図6(a)は直流電圧 $V_{ps}$ の印加前の状態を示し、図6(b)は直

流電圧 $V_{ps}$ を印加したときの状態を示す。金薄膜7をn形シリコン基板1に対して正極として直流電圧 $V_{ps}$ を印加し、この直流電圧 $V_{ps}$ が所定値(臨界値)に達すると、図6(b)に示すように、n形シリコン基板1側から $\text{RTO-PPS}$ 層6に熱的励起により電子 $e^-$ が注入される。このとき、直流電圧 $V_{ps}$ のほとんどは半絶縁性の $\text{RTO-PPS}$ 層6にかかっているため、注入された電子 $e^-$ は $\text{RTO-PPS}$ 層6内に存在する強電界(平均電界は略 $10^5 \text{ V/cm}$ )によってドリフトされ、不規則なポテンシャルや格子などの散乱により運動エネルギーを失いながら表面側に向かっていく(なお、この過程では衝突電離による電子倍増もありうる)。 $\text{RTO-PPS}$ 層6の表面に到達した電子 $e^-$ は、熱平衡状態よりも高い運動エネルギーをもったいわゆるホットエレクトロン(熱い電子)と考えられ、電界効果により $\text{RTO-PPS}$ 層6の最表面の $\text{SiO}_x$ のサブバンドを介して金薄膜7を容易にトンネルし外部に放出されるものと推考される。

【0039】この理論を確認するために、本実施形態の電界放射型電子源10から放射される電子のエネルギー $N(E)$ のエネルギー分布を測定した結果を図7に示す。図7において、イは直流電圧 $V_{ps}$ を12Vとした場合、ロは直流電圧 $V_{ps}$ を15Vとした場合、ハは直流電圧 $V_{ps}$ を18Vとした場合、をそれぞれ示す。図7から、電子のエネルギー $N(E)$ のエネルギー分布は比較的にブロードであって、しかも数eVの高エネルギー成分を含んでおり、印加する直流電圧 $V_{ps}$ の増加とともにピーク位置が高エネルギー側へシフトすることがわかった。したがって、 $\text{RTO-PPS}$ 層6での電子散乱は少なく、 $\text{RTO-PPS}$ 層6の表面側に到達した電子は十分なエネルギーを有するホットエレクトロンであると考えられる。なお、図6中の二点鎖線で示した円A内の図は、放出直前の電子のエネルギー分布 $n(E)$ とトンネル放出確率 $T(E)$ との関係を定性的に示したものであり、放出電子のエネルギー $N(E)$ のエネルギー分布の形状は $n(E)$ と $T(E)$ との乗算により決まる( $N(E) = n(E)T(E)$ )。例えば、直流電圧 $V_{ps}$ の電圧が増加すると、 $n(E)$ は高エネルギー側のテール成分が増えるように変化し、その結果として $N(E)$ も全体的に高エネルギー側へシフトする。

【0040】なお、熱平衡状態にまで緩和してしまう強い散乱を電子が受けていないということは、 $\text{RTO-PPS}$ 層6内でのエネルギー損失、すなわち、熱的なロスが少ないということを意味し、放出電子電流 $I_e$ の効率が高く安定して電子を放出することができると考えられる。図8は本実施形態の電界放射型電子源10のダイオード電流 $I_{ps}$ および放出電子電流 $I_e$ それぞれの経時変化を示すグラフであって、横軸が時間、縦軸が電流密度であり、同図中のイがダイオード電流 $I_{ps}$ を、同図中のロが放出電子電流 $I_e$ を示す。なお、図8は、直流電圧

Vpsを15V一定、直流電圧Vcを100V一定とした場合の結果である。図8からわかるように、本実施形態の電界放射型電子源10では、ダイオード電流Ips、放出電子電流Ie両方ともポッピング現象は観測されず、時間が経過しても略一定のダイオード電流Ips及び放出電子電流Ieを維持することができる。これは、RTO-PPS層6は各グレインの表面が多孔質化し各グレインの中心部分では結晶状態が維持されており、電圧の印加により生じた熱が上記結晶状態が維持された部分を伝導して外部に放出され、温度上昇が抑制されるからであると推考される。このような放出電子電流Ieの経時変化の少ない安定した特性は、従来のMIM方式や単結晶シリコン基板の表面を多孔質化することにより実現される電界放射型電子源では得られない特性であり、本発明の構造を採用することにより得られる特性である。

【0041】次に、本実施形態の電界放射型電子源10の放出電子電流Ieの真空度依存性について説明する。図9は本実施形態の電界放射型電子源10の周囲をArガス雰囲気として真空度を変化させたときのダイオード電流Ips及び放出電子電流Ieの変化を示す。図9は横軸が真空度、縦軸が電流密度であり、同図中のイ(○)がダイオード電流Ipsを、同図中のロ(●)が放出電子電流Ieを示す。図9から、真空度が約 $10^{-3}$ Pa〜約1Paの範囲では略一定の放出電子電流Ieが得られ、放出電子電流Ieの真空度依存性が小さいことがわかる。すなわち、本実施形態の電界放射型電子源10は電子放出特性の真空度依存性が小さいので、真空度が多少変化しても安定して電子を効率良く放出(放射)することができ、低真空度でも良好な電子放出特性が得られ従来のような高真空で使用する必要がないから、電界放射型電子源10を利用する装置の低コスト化が図れるとともに取扱いが容易になる。

【0042】本実施形態では、導電性基板としてn形シリコン基板1(抵抗率が略 $0.1\Omega\text{cm}$ の(100)基板)を用いているが、導電性基板はn形シリコン基板に限定されるものではなく、例えば、金属基板や、ガラス基板などに透明導電性薄膜(例えば、ITO: Indium Tin Oxide)や白金やクロムなどの導電性膜を形成した基板などを用いてもよく、n形シリコン基板などの半導体基板を用いる場合に比べて大面積化及び低コスト化が可能になる。

【0043】(実施形態2)本実施形態の電界放射型電子源10の基本構成は図1に示した実施形態1と略同じでなので図示を省略し、製造方法を図10及び図11を参照しながら説明する。本実施形態では、実施形態1における多孔質ポリシリコン層6が、図11(c)に示すように多孔度の高いポリシリコン層6bと多孔度の低いポリシリコン層6aとが交互に積層された層により構成されている点が相違する。なお、本実施形態においても、実施形態1と同様に、導電性基板としてn形シリコ

ン基板1(抵抗率が略 $0.1\Omega\text{cm}$ の(100)基板)を用いている。

【0044】まず、n形シリコン基板1の裏面にオーミック電極2を形成した後、n形シリコン基板1の表面に膜厚が略 $1.5\mu\text{m}$ のノンドープのポリシリコン層3を形成することにより図10(a)に示すような構造が得られる。

【0045】次に、55wt%のフッ化水素水溶液とエタノールとを略1:1で混合した混合液よりなる電解液を用い、白金電極(図示せず)を負極、n形シリコン基板1(オーミック電極2)を正極として、ポリシリコン層3に光照射を行いながら定電流で陽極酸化処理を行う。ここにおいて、陽極酸化処理は次の手順で行った。陽極酸化処理の条件として、電流密度を $2.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 一定、陽極酸化時間を4秒とする第1の条件と、電流密度を $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 一定、陽極酸化時間を5秒とする第2の条件とを設定し、第1の条件での陽極酸化処理と第2の条件での陽極酸化処理とを交互に3回繰り返して行った。但し、陽極酸化中には500Wのタングステンランプにより表面に光を照射することとした。ここで、第1の条件での陽極酸化が終了した時点では、ポリシリコン層3の表面側に多孔度の低い多孔質ポリシリコン層4a(以下、PPS層4aと称す)が形成され図10(b)に示すような構造が得られる。その後、第2の条件での陽極酸化が終了した時点では、上記多孔質ポリシリコン層4aよりもn形シリコン基板1側に、PPS層4aよりも多孔度の高い多孔質ポリシリコン層4b(以下、PPS層4bと称す)が形成され図10(c)に示すような構造が得られる。しかして、第1の条件、第2の条件での陽極酸化が3回ずつ終了した時点では、PPS層4aとPPS層4bとが交互に積層された図11(a)に示す構造が得られる。なお、本実施形態では、PPS層4aとPPS層4bとの積層構造よりなる多孔質ポリシリコン層の膜厚は略 $1\mu\text{m}$ であった。また、本実施形態では、ポリシリコン層3の一部を多孔質化しているが、ポリシリコン層3全部を多孔質化してもよい。

【0046】次に、急速熱酸化(RTO: Rapid Thermal Oxidation)技術によって全てのPPS層4a、4b及びポリシリコン層3の急速熱酸化を行うことにより図11(b)に示す構造が得られる。ここに、図11(b)における5は急速熱酸化されたポリシリコン層を、6a、6bは急速熱酸化された上記多孔質ポリシリコン層(以下、RTO-PPS層6a、6bと称す)を示す。急速熱酸化の条件としては、酸化温度を $900^\circ\text{C}$ 、酸化時間を1時間とした。なお、本実施形態では、PPS層4a、4b及びポリシリコン層3の酸化を急速熱酸化により行っているため、数秒で酸化温度まで昇温することが可能であり、通常の炉心管タイプの酸化装置で問題となる入炉時の巻き込み酸化を抑制することがで

きる。

【0047】その後、最上層のRTO-PPS層6a上に金属薄膜たる金薄膜7を例えば蒸着により形成することによって、図11(c)に示す構造の電界放射型電子源10が得られる。ここに、本実施形態では、金薄膜7の膜厚を略10nmとしたが、この膜厚は特に限定するものではない。なお、電界放射型電子源10は金薄膜7を電極の正極(アノード)とし、オーミック電極2を負極(カソード)とするダイオードが構成される。

【0048】以下、本実施形態の電界放射型電子源10

10 10 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1070 1071 1072 1073 1074 1075 1076 1077 1078 1079 1080 1081 1082 1083 1084 1085 1086 1087 1088 1089 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1099 1100 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 1117 1118 1119 1120 1121 1122 1123 1124 1125 1126 1127 1128 1129 1130 1131 1132 1133 1134 1135 1136 1137 1138 1139 1140 1141 1142 1143 1144 1145 1146 1147 1148 1149 1150 1151 1152 1153 1154 1155 1156 1157 1158 1159 1160 1161 1162 1163 1164 1165 1166 1167 1168 1169 1170 1171 1172 1173 1174 1175 1176 1177 1178 1179 1180 1181 1182 1183 1184 1185 1186 1187 1188 1189 1190 1191 1192 1193 1194 1195 1196 1197 1198 1199 1200 1201 1202 1203 1204 1205 1206 1207 1208 1209 1210 1211 1212 1213 1214 1215 1216 1217 1218 1219 1220 1221 1222 1223 1224 1225 1226 1227 1228 1229 1230 1231 1232 1233 1234 1235 1236 1237 1238 1239 1240 1241 1242 1243 1244 1245 1246 1247 1248 1249 1250 1251 1252 1253 1254 1255 1256 1257 1258 1259 1260 1261 1262 1263 1264 1265 1266 1267 1268 1269 1270 1271 1272 1273 1274 1275 1276 1277 1278 1279 1280 1281 1282 1283 1284 1285 1286 1287 1288 1289 1290 1291 1292 1293 1294 1295 1296 1297 1298 1299 1300 1301 1302 1303 1304 1305 1306 1307 1308 1309 1310 1311 1312 1313 1314 1315 1316 1317 1318 1319 1320 1321 1322 1323 1324 1325 1326 1327 1328 1329 1330 1331 1332 1333 1334 1335 1336 1337 1338 1339 1340 1341 1342 1343 1344 1345 1346 1347 1348 1349 1350 1351 1352 1353 1354 1355 1356 1357 1358 1359 1360 1361 1362 1363 1364 1365 1366 1367 1368 1369 1370 1371 1372 1373 1374 1375 1376 1377 1378 1379 1380 1381 1382 1383 1384 1385 1386 1387 1388 1389 1390 1391 1392 1393 1394 1395 1396 1397 1398 1399 1400 1401 1402 1403 1404 1405 1406 1407 1408 1409 1410 1411 1412 1413 1414 1415 1416 1417 1418 1419 1420 1421 1422 1423 1424 1425 1426 1427 1428 1429 1430 1431 1432 1433 1434 1435 1436 1437 1438 1439 1440 1441 1442 1443 1444 1445 1446 1447 1448 1449 1450 1451 1452 1453 1454 1455 1456 1457 1458 1459 1460 1461 1462 1463 1464 1465 1466 1467 1468 1469 1470 1471 1472 1473 1474 1475 1476 1477 1478 1479 1480 1481 1482 1483 1484 1485 1486 1487 1488 1489 1490 1491 1492 1493 1494 1495 1496 1497 1498 1499 1500 1501 1502 1503 1504 1505 1506 1507 1508 1509 1510 1511 1512 1513 1514 1515 1516 1517 1518 1519 1520 1521 1522 1523 1524 1525 1526 1527 1528 1529 1530 1531 1532 1533 1534 1535 1536 1537 1538 1539 1540 1541 1542 1543 1544 1545 1546 1547 1548 1549 1550 1551 1552 1553 1554 1555 1556 1557 1558 1559 1560 1561 1562 1563 1564 1565 1566 1567 1568 1569 1570 1571 1572 1573 1574 1575 1576 1577 1578 1579 1580 1581 1582 1583 1584 1585 1586 1587 1588 1589 1590 1591 1592 1593 1594 1595 1596 1597 1598 1599 1600 1601 1602 1603 1604 1605 1606 1607 1608 1609 1610 1611 1612 1613 1614 1615 1616 1617 1618 1619 1620 1621 1622 1623 1624 1625 1626 1627 1628 1629 1630 1631 1632 1633 1634 1635 1636 1637 1638 1639 1640 1641 1642 1643 1644 1645 1646 1647 1648 1649 1650 1651 1652 1653 1654 1655 1656 1657 1658 1659 1660 1661 1662 1663 1664 1665 1666 1667 1668 1669 1670 1671 1672 1673 1674 1675 1676 1677 1678 1679 1680 1681 1682 1683 1684 1685 1686 1687 1688 1689 1690 1691 1692 1693 1694 1695 1696 1697 1698 1699 1700 1701 1702 1703 1704 1705 1706 1707 1708 1709 1710 1711 1712 1713 1714 1715 1716 1717 1718 1719 1720 1721 1722 1723 1724 1725 1726 1727 1728 1729 1730 1731 1732 1733 1734 1735 1736 1737 1738 1739 1740 1741 1742 1743 1744 1745 1746 1747 1748 1749 1750 1751 1752 1753 1754 1755 1756 1757 1758 1759 1760 1761 1762 1763 1764 1765 1766 1767 1768 1769 1770 1771 1772 1773 1774 1775 1776 1777 1778 1779 1780 1781 1782 1783 1784 1785 1786 1787 1788 1789 1790 1791 1792 1793 1794 1795 1796 1797 1798 1799 1800 1801 1802 1803 1804 1805 1806 1807 1808 1809 1810 1811 1812 1813 1814 1815 1816 1817 1818 1819 1820 1821 1822 1823 1824 1825 1826 1827 1828 1829 1830 1831 1832 1833 1834 1835 1836 1837 1838 1839 1840 1841 1842 1843 1844 1845 1846 1847 1848 1849 1850 1851 1852 1853 1854 1855 1856 1857 1858 1859 1860 1861 1862 1863 1864 1865 1866 1867 1868 1869 1870 1871 1872 1873 1874 1875 1876 1877 1878 1879 1880 1881 1882 1883 1884 1885 1886 1887 1888 1889 1890 1891 1892 1893 1894 1895 1896 1897 1898 1899 1900 1901 1902 1903 1904 1905 1906 1907 1908 1909 1910 1911 1912 1913 1914 1915 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1923 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1930 1931 1932 1933 1934 1935 1936 1937 1938 1939 1940 1941 1942 1943 1944 1945 1946 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050 2051 2052 2053 2054 2055 2056 2057 2058 2059 2060 2061 2062 2063 2064 2065 2066 2067 2068 2069 2070 2071 2072 2073 2074 2075 2076 2077 2078 2079 2080 2081 2082 2083 2084 2085 2086 2087 2088 2089 2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2099 2100 2101 2102 2103 2104 2105 2106 2107 2108 2109 2110 2111 2112 2113 2114 2115 2116 2117 2118 2119 2120 2121 2122 2123 2124 2125 2126 2127 2128 2129 2130 2131 2132 2133 2134 2135 2136 2137 2138 2139 2140 2141 2142 2143 2144 2145 2146 2147 2148 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165 2166 2167 2168 2169 2170 2171 2172 2173 2174 2175 2176 2177 2178 2179 2180 2181 2182 2183 2184 2185 2186 2187 2188 2189 2190 2191 2192 2193 2194 2195 2196 2197 2198 2199 2200 2201 2202 2203 2204 2205 2206 2207 2208 2209 2210 2211 2212 2213 2214 2215 2216 2217 2218 2219 2220 2221 2222 2223 2224 2225 2226 2227 2228 2229 2230 2231 2232 2233 2234 2235 2236 2237 2238 2239 2240 2241 2242 2243 2244 2245 2246 2247 2248 2249 2250 2251 2252 2253 2254 2255 2256 2257 2258 2259 2260 2261 2262 2263 2264 2265 2266 2267 2268 2269 2270 2271 2272 2273 2274 2275 2276 2277 2278 2279 2280 2281 2282 2283 2284 2285 2286 2287 2288 2289 2290 2291 2292 2293 2294 2295 2296 2297 2298 2299 2300 2301 2302 2303 2304 2305 2306 2307 2308 2309 2310 2311 2312 2313 2314 2315 2316 2317 2318 2319 2320 2321 2322 2323 2324 2325 2326 2327 2328 2329 2330 2331 2332 2333 2334 2335 2336 2337 2338 2339 2340 2341 2342 2343 2344 2345 2346 2347 2348 2349 2350 2351 2352 2353 2354 2355 2356 2357 2358 2359 2360 2361 2362 2363 2364 2365 2366 2367 2368 2369 2370 2371 2372 2373 2374 2375 2376 2377 2378 2379 2380 2381 2382 2383 2384 2385 2386 2387 2388 2389 2390 2391 2392 2393 2394 2395 2396 2397 2398 2399 2400 2401 2402 2403 2404 2405 2406 2407 2408 2409 2410 2411 2412 2413 2414 2415 2416 2417 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425 2426 2427 2428 2429 2430 2431 2432 2433 2434 2435 2436 2437 2438 2439 2440 2441 2442 2443 2444 2445 2446 2447 2448 2449 2450 2451 2452 2453 2454 2455 2456 2457 2458 2459 2460 2461 2462 2463 2464 2465 2466 2467 2468 2469 2470 2471 2472 2473 2474 2475 2476 2477 2478 2479 2480 2481 2482 2483 2484 2485 2486 2487 2488 2489 2490 2491 2492 2493 2494 2495 2496 2497 2498 2499 2500 2501 2502 2503 2504 2505 2506 2507 2508 2509 2510 2511 2512 2513 2514 2515 2516 2517 2518 2519 2520 2521 2522 2523 2524 2525 2526 2527 2528 2529 2530 2531 2532 2533 2534 2535 2536 2537 2538 2539 2540 2541 2542 2543 2544 2545 2546 2547 2548 2549 2550 2551 2552 2553 2554 2555 2556 2557 2558 2559 2560 2561 2562 2563 2564 2565 2566 2567 2568 2569 2570 2571 2572 2573 2574 2575 2576 2577 2578 2579 2580 2581 2582 2583 2584 2585 2586 2587 2588 2589 2590 2591 2592 2593 2594 2595 2596 2597 2598 2599 2600 2601 2602 2603 2604 2605 2606 2607 2608 2609 2610 2611 2612 2613 2614 2615 2616 2617 2618 2619 2620 2621 2622 2623 2624 2625 2626 2627 26



層3に光照射を行いながら定電流で陽極酸化処理を行う。ここにおいて、陽極酸化処理は、電流密度を $0\text{ mA/cm}^2$ として陽極酸化を開始し、時間経過とともに電流密度を $0\text{ mA/cm}^2$ から $20\text{ mA/cm}^2$ まで連続的に(徐々に)増加させる。但し、陽極酸化中には $500\text{ W}$ のタングステンランプにより表面に光を照射することとした。しかして、陽極酸化処理が終了した時点では、 $n$ 形シリコン基板1に近い側が高多孔度で表面に近い方が低多孔度となり多孔度が厚み方向に連続的に変化した多孔質ポリシリコン層4c(以下、PPS層4cと称す)が形成され図16(b)に示すような構造が得られる。なお、本実施形態では、PPS層4cの膜厚は略 $1\text{ }\mu\text{m}$ であった。また、本実施形態では、ポリシリコン層3の一部を多孔質化しているが、ポリシリコン層3全部を多孔質化してもよい。

【0058】次に、急速熱酸化技術によってPPS層4c及びポリシリコン層3の急速熱酸化を行い(急速熱酸化の条件としては、酸化温度を $900^\circ\text{C}$ 、酸化時間を1時間とした)、金属薄膜たる金薄膜7を例えば蒸着により形成することによって、図16(c)に示す構造の電界放射型電子源10が得られる。ここに、本実施形態では、金薄膜7の膜厚を略 $10\text{ nm}$ としたが、この膜厚は特に限定されるものではない。なお、電界放射型電子源10は金薄膜7を電極の正極(アノード)とし、オーミック電極2を負極(カソード)とするダイオードが構成される。また、図16(c)において、5は急速熱酸化されたポリシリコン層を、6は急速熱酸化されたPPS層4c(RTO-PPS層6)を示す。

【0059】なお、本実施形態では、陽極酸化処理において電流密度を徐々に増加させることにより多孔度を変化させているが、電流密度を徐々に減少させることにより多孔度を変化させるようにしてよく、後者の場合には、 $n$ 形シリコン基板1に近い側が低多孔度で表面に近い側が高多孔度となる。

【0060】(実施形態4)図17に実施形態1の電界放射型電子源10を利用した平面発光装置の概略構成図を示す。なお、実施形態1と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略する。ここにおいて、電界放射型電子源10としては、実施形態2または実施形態3の電界放射型電子源10を用いてもよい。

【0061】本実施形態の平面発光装置は、電界放射型電子源10と、電界放射型電子源10の金薄膜7に対向配置される透明電極31を備え、透明電極31には電界放射型電子源10から放射される電子線により可視光を発光する蛍光体32が塗布してある。また、透明電極31はガラス基板などの透明板33に塗布形成してある。ここに、透明電極31及び蛍光体32が形成された透明板33はスペーサ34を介して電界放射型電子源10と一体化してあり、透明板33とスペーサ34と電界放射型電子源10とで囲まれる内部空間を所定の真空度にし

てある。したがって、電界放射型電子源10から電子を放射させることによって、蛍光体32を発光させることができ、蛍光体32の発光を透明電極31及び透明板33を通して外部に表示することができる。

【0062】本実施形態の平面発光装置において、透明電極31を金薄膜7に対して正極とし透明電極31と金薄膜7との間に $1\text{ kV}$ の直流電圧 $V_c$ を印加した状態で、電界放射型電子源10の金薄膜7とオーミック電極2との間に $15\text{ V}$ 程度の直流電圧 $V_{ps}$ を印加して電子を放出(放射)させたところ、金薄膜7の面積(サイズ)に対応する蛍光パターンが得られた。これは、電界放射型電子源10から放射される放出電子電流 $I_e$ 密度が金薄膜7の面内で略均一であることを示すとともに、放射される電子 $e^-$ が金薄膜7から略垂直方向に放射され、電子 $e^-$ の流れが広がったり狭まったりすることなく略平行となっていることを示す証左である。したがって、本実施形態では、電子 $e^-$ が金薄膜7の面内で略均一に略垂直方向へ放射されるから、従来の平面発光装置で用いられる収束電極を設ける必要がなく、構造が簡単になるとともに低コスト化が可能になる。また、電界放射型電子源10からの電子の放出時にポッピング現象が発生しないので、表示むらを少なくすることができる。

【0063】(実施形態5)図18に実施形態1ないし実施形態3のいずれかに記載の電界放射型電子源10をディスプレイ装置に利用する場合の電子源部の概略構成図を示す。本実施形態では、図18に示すように、実施形態1ないし実施形態3のいずれかに記載の電界放射型電子源10をマトリクス状(アレイ状)に構成し、各電界放射型電子源10を各ピクセルに対応させてあり、Xマトリクスコントロール回路41とYマトリクスコントロール回路42とで各電界放射型電子源10に印加する上述(実施形態1で説明)の直流電圧 $V_{ps}$ をそれぞれオンオフするようになっている。すなわち、本実施形態では、Xマトリクスコントロール回路41とYマトリクスコントロール回路42とによって直流電圧 $V_{ps}$ を印加する電界放射型電子源10を選択するようになっており、選択された電界放射型電子源10からのみ電子が放射される。

【0064】なお、本実施形態のディスプレイ装置では、図示しないが、実施形態4と同様に、電子源部に対向配置される(つまり、電界放射型電子源10の金薄膜7に対向配置される)透明電極を備え、透明電極には電界放射型電子源10から放射される電子線により可視光を発光する蛍光体が塗布してある。また、透明電極はガラス基板などの透明板に塗布形成してある。

【0065】ところで、上述のように電界放射型電子源10から放射される電子は、金薄膜7の面内で略均一に金薄膜7から略垂直方向に放射されその電子流は略平行しているので、本実施形態のディスプレイ装置では、電界放射型電子源10に対向する蛍光体部分のみを発光さ

せることができる。したがって、従来のような複雑なシャドウマスクを設ける必要がなく、高精細なディスプレイ装置を実現することが可能となる。

【0066】（実施形態6）図19に実施形態1に記載の電界放射型電子源10を利用した固体真空デバイスの概略構成図を示す。なお、実施形態1と同様の構成要素については同一の符号を付し説明を省略する。また、電界放射型電子源10としては実施形態2または実施形態3の構造を採用してもよい。

【0067】本実施形態の固体真空デバイスは、三極管 10 タイプのものであって、電界放射型電子源10をカソードとし、電界放射型電子源10の金薄膜7に対向してアノード電極51（陽極）を配置し、アノード電極51とカソードとの間にメッシュ状のグリッド52を設けてある。また、アノード電極51、グリッド52、カソードは封止材53、54によって真空封止されている。なお、本実施形態では、封止材53、54とn形シリコン基板1よりなる導電性基板とで真空容器を構成している。

【0068】本実施形態の固体真空デバイスは、電界放射型電子源10に上述の直流電圧 $V_{ps}$ を印加することにより電界放射型電子源10、つまりカソードから電子が放射され、アノード電極51と金薄膜7との間に印加されるアノード電圧 $V_a$ により加速されるので、アノード電極51とカソードとの間にアノード電流 $I_a$ が流れる。なお、このアノード電流 $I_a$ の大きさは、グリッド52を負極としてグリッド52とオーミック電極2との間に印加する直流電圧 $V_g$ の値を変化させることにより制御できる。

【0069】従来の真空デバイスは熱電子放射を用いた陰極が主流であるが、本発明の電界放射型電子源を用いれば、冷陰極で長寿命の固体真空デバイスを実現することができる。

【0070】なお、本実施形態では三極管タイプの固体真空デバイスについて説明したが、多極管タイプであってもよいことは勿論である。

【0071】

【発明の効果】請求項1の発明は、導電性基板と、導電性基板の一表面側に形成され酸化されたナノメータ単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されているものであり、電圧の印加により生じた熱が上記結晶状態が維持された部分を伝導して外部に放出されて温度上昇が抑制されるので、電子放出特性の真空度依存性が小さく且つ電子放出時にポッピング現象が発生せず安定して高効率で電子を放出することができ、ま

た、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板の他にガラス基板などに導電性膜を形成した基板などを使用することもできるから、従来のように半導体基板を多孔質化した多孔質半導体層を利用する場合やスピント型電極に比べて、電子源の大面積化及び低コスト化が可能になるという効果がある。

【0072】請求項2の発明は、導電性基板と、導電性基板の一表面側に形成され窒化されたナノメータ単位の構造を有する多孔質のポリシリコン層と、該多孔質のポリシリコン層上に形成された金属薄膜とを備え、金属薄膜を導電性基板に対して正極として電圧を印加することにより金属薄膜を通して電子線を放射するものであって、上記多孔質のポリシリコン層は、各グレインの表面が多孔質化され各グレインの中心部分では結晶状態が維持されているものであり、電圧の印加により生じた熱が上記結晶状態が維持された部分を伝導して外部に放出されて温度上昇が抑制されるので、電子放出特性の真空度依存性が小さく且つ電子放出時にポッピング現象が発生せず安定して高効率で電子を放出することができ、また、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板の他にガラス基板などに導電性膜を形成した基板などを使用することもできるから、従来のように半導体基板を多孔質化した多孔質半導体層を利用する場合やスピント型電極に比べて、電子源の大面積化及び低コスト化が可能になるという効果がある。

【0073】請求項6の発明は、請求項1乃至請求項5の発明において、上記ポリシリコン層が、ノンドープのポリシリコン層なので、酸化または窒化された多孔質のポリシリコン層が半絶縁性となり、上記電圧を印加することにより該多孔質のポリシリコン層が強電界となつて、導電性基板側から該多孔質のポリシリコン層に注入された電子がドリフトして該多孔質のポリシリコン層の表面に達し、ホットエレクトロンとして金属薄膜をトンネルすることにより電子が放射されるから、上記ポリシリコン層がドーピングされている場合に比べて高効率で安定して電子を放出することができ、また、ドーピングが不要なので製造が容易になるという効果がある。

【0074】請求項7の発明は、請求項1乃至請求項6の発明において、導電性基板は、一表面に導電性薄膜が形成された基板からなるので、導電性基板として単結晶シリコン基板などの半導体基板を用いる場合に比べて大面積化及び低コスト化が可能になるという効果がある。

【0075】請求項8の発明は、請求項1記載の電界放射型電子源の製造方法であって、導電性基板上にポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を酸化し、酸化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成するので、従来のスピント型電極のような複雑な構造や製造プロセスを必要とせず、比較的簡単な製造プロセスによって電子を安定して高効率で放出できる低コストの電界

放射型電子源を提供することができ、また、大面積の電界放射型電子源を提供することができるという効果がある。

【0076】請求項9の発明は、請求項2記載の電界放射型電子源の製造方法であって、導電性基板上にポリシリコン層を形成し、ポリシリコン層を多孔質化し、多孔質化されたポリシリコン層を窒化し、窒化された多孔質のポリシリコン層上に金属薄膜よりなる電極を形成するので、従来のスピント型電極のような複雑な構造や製造プロセスを必要とせず、比較的簡単な製造プロセスによって電子を安定して高効率で放出できる低コストの電界放射型電子源を提供することができ、また、大面積の電界放射型電子源を提供することができるという効果がある。

【0077】請求項12の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発光する蛍光体が上記透明電極に設けられているので、電界放射型電子源から放射される電子の放出角度が金属薄膜の表面に対して略垂直方向にそろってから、収束電極を設ける必要がなく、構造が簡単になるとともに薄型の平面発光装置を実現することができるという効果がある。

【0078】請求項13の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源をマトリクス状に構成し、各電界放射型電子源に印加する上記電圧をそれぞれ制御する手段と、上記金属薄膜に対向配置される透明電極とを備え、上記電子線により可視光を発光する蛍光体が上記透明電極に設けられて成ることを特徴とするものであり、電界放射型電子源から放射される電子の放出角度が金属薄膜の表面に対して略垂直方向にそろるので、複雑なシャドウマスクや電子収束レンズを設ける必要がなく、高精細なディスプレイ装置を実現することができるという効果がある。

【0079】請求項14の発明は、少なくとも請求項1乃至請求項7のいずれかに記載の電界放射型電子源と陽極とが真空容器中に配設されているので、電界放射型電子源が冷陰極を構成するから、従来の熱電子放射を利用した熱陰極を有する固体真空デバイスのように加熱手段を設ける必要がなく、小型化が可能になるとともに陰極

物質の蒸発や劣化を抑制することができ、長寿命の固体真空デバイスを実現することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態1を示す断面図である。

【図2】同上の製造プロセスを説明するための主要工程断面図である。

【図3】同上の放射電子の測定原理の説明図である。

【図4】同上の電圧電流特性図である。

10 【図5】図4のデータをFowler-Nordheimプロットしたグラフである。

【図6】同上の電子放出機構を説明するバンド図である。

【図7】同上の放出電子のエネルギー分布の説明図である。

【図8】同上の電流の経時変化を示すグラフである。

【図9】同上の電流の真空度依存性を示すグラフである。

20 【図10】実施形態2の製造プロセスを説明するための主要工程断面図である。

【図11】同上の製造プロセスを説明するための主要工程断面図である。

【図12】同上の電圧電流特性図である。

【図13】図12のデータをFowler-Nordheimプロットしたグラフである。

【図14】同上の電流の経時変化を示すグラフである。

【図15】同上の他の構成例の陽極酸化処理の説明図である。

30 【図16】実施形態3の製造プロセスを説明するための主要工程断面図である。

【図17】実施形態4を示す概略構成図である。

【図18】実施形態5を示す要部概略構成図である。

【図19】実施形態6を示す概略構成図である。

【符号の説明】

1 n形シリコン基板

2 オーミック電極

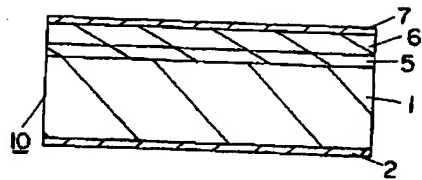
5 急速熱酸化されたポリシリコン層

6 急速熱酸化された多孔質ポリシリコン層

7 金薄膜

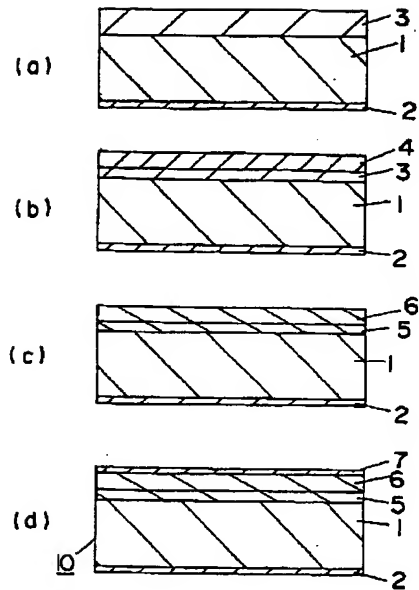
40 10 電界放射型電子源

【図1】

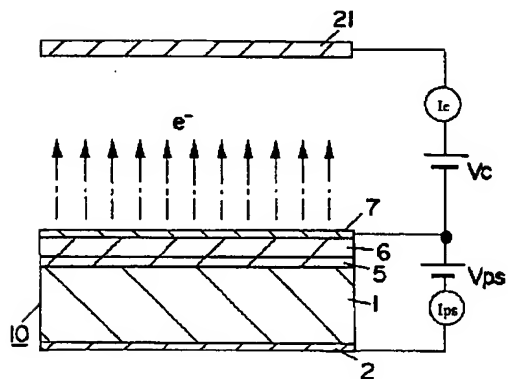


- 1 n形シリコン基板
- 2 オーミック電極
- 5 急速熱酸化されたポリシリコン層
- 6 急速熱酸化された多孔質ポリシリコン層
- 7 金薄膜
- 10 電界放射型電子源

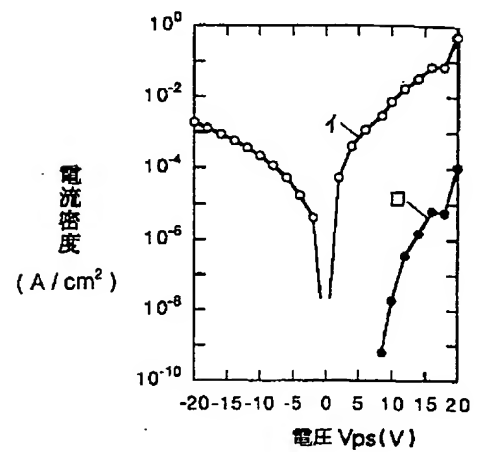
【図2】



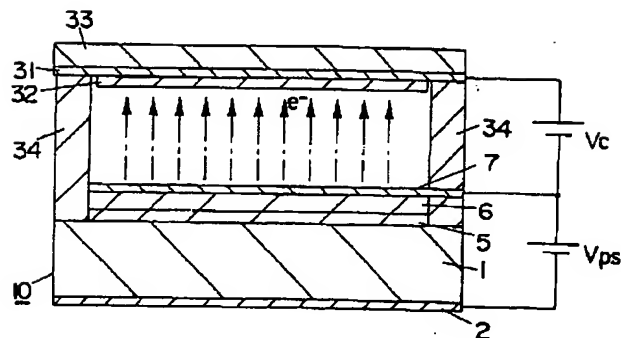
【図3】



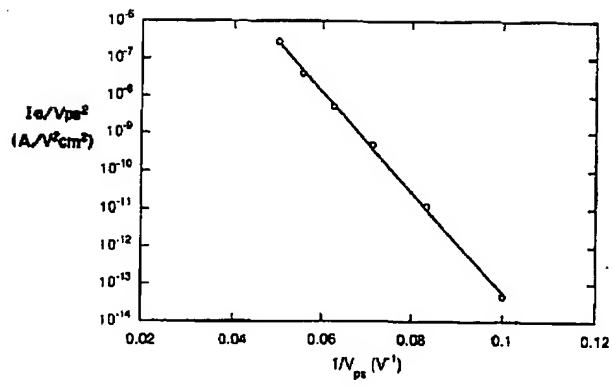
【図4】



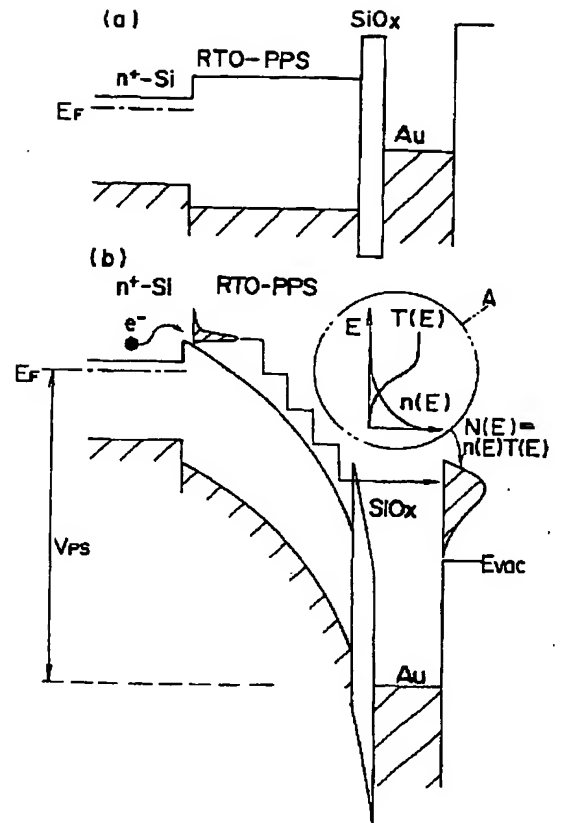
【図17】



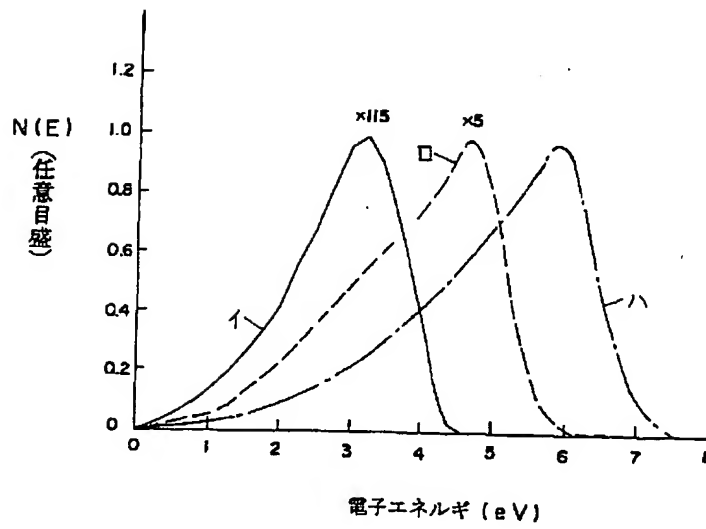
【図5】



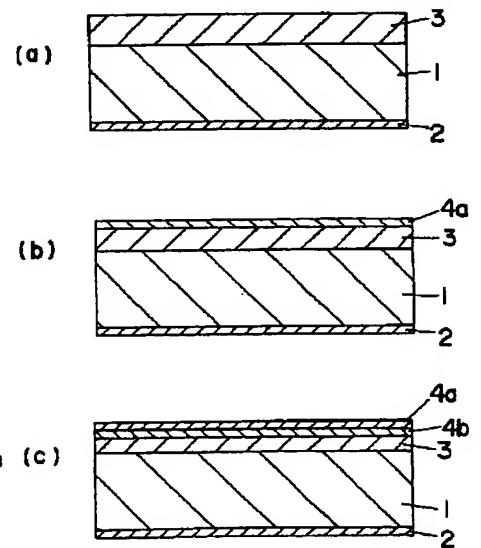
【図6】



【図7】

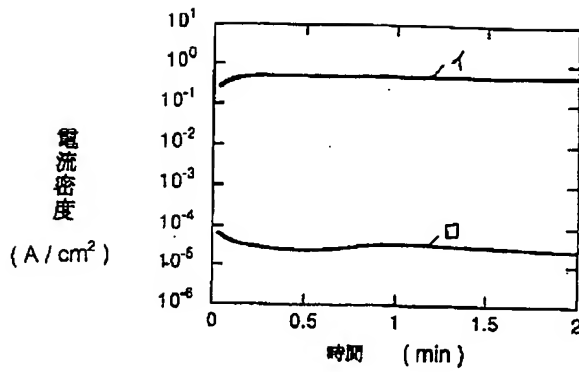


【図10】

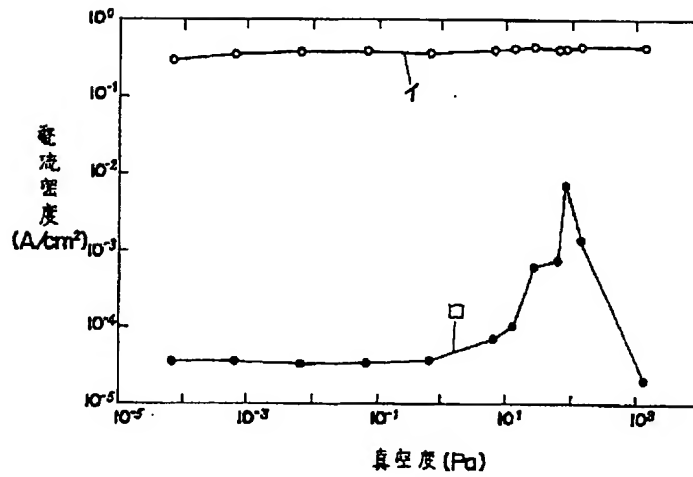




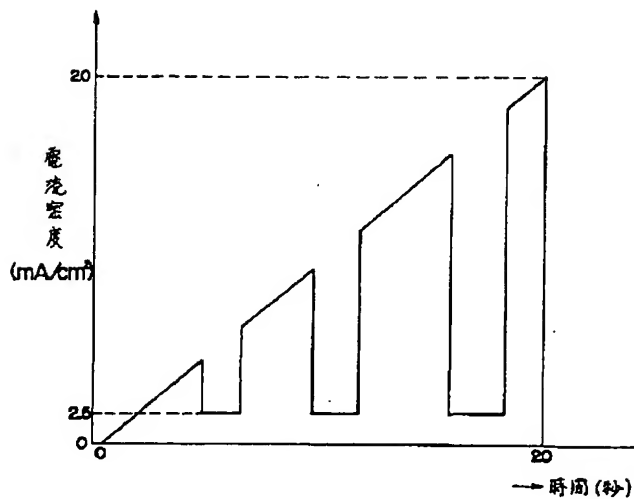
【図8】



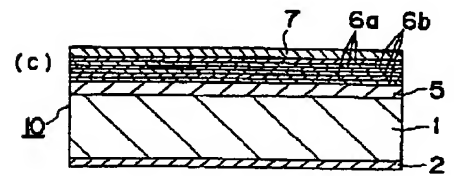
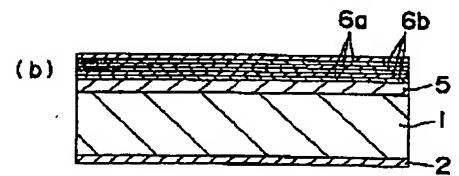
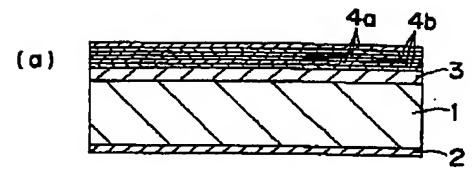
【図9】



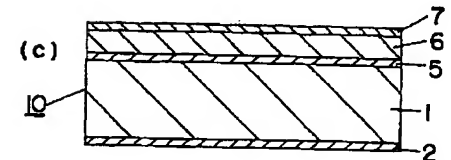
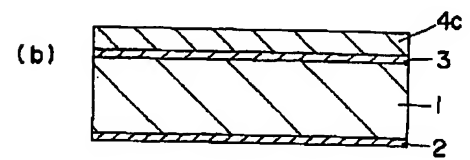
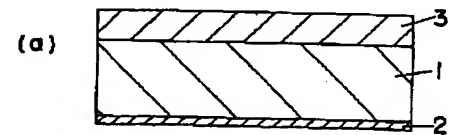
【図15】



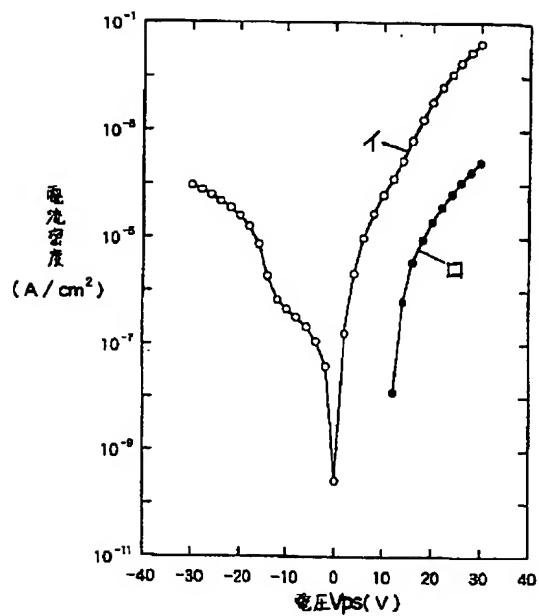
【図11】



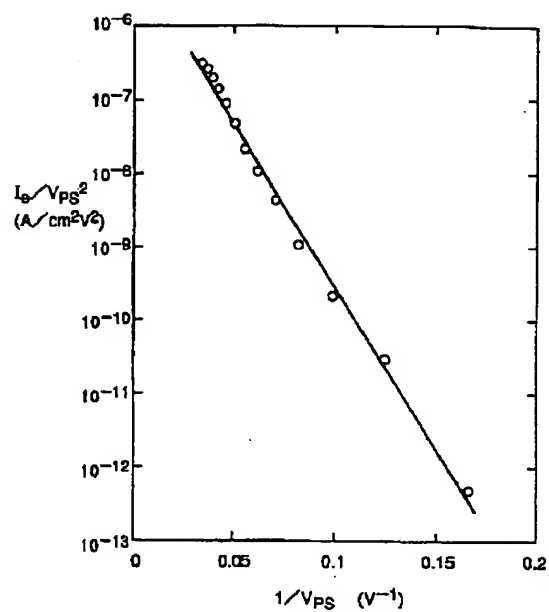
【図16】



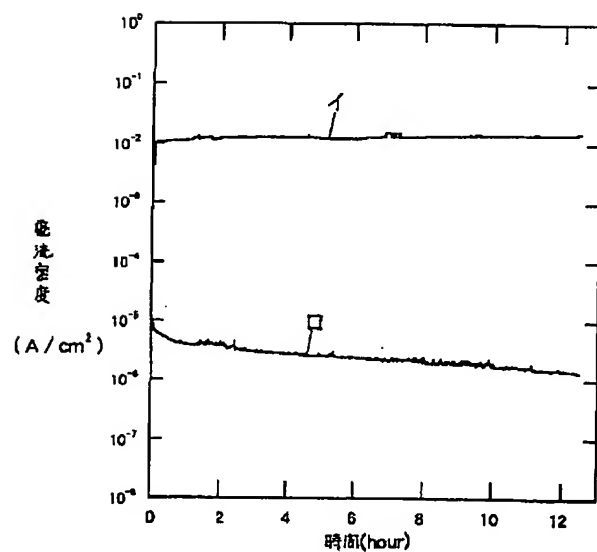
【図12】



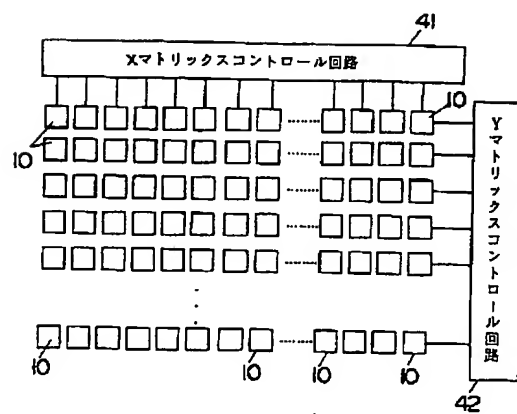
【図13】



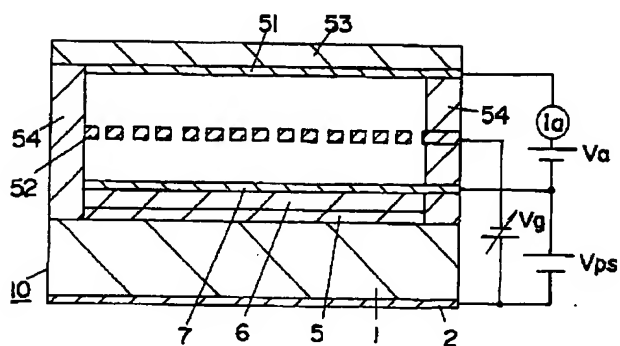
【図14】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>°</sup>

H01J 31/12

識別記号

F1

H01J 31/12

C

(56)参考文献

特開 平9-259795 (JP, A)

特開 平10-269932 (JP, A)

Xia Sheng et al.  
 "Properties of  
 Porous Silicon EL  
 Diodes as Surface-  
 Emitting Cold Cath-  
 ode (IV)", 第44回応用物理関係  
 連合講演会予稿集, 平成9年3月, 29p  
 -Y12

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>°</sup>, DB名)

H01J 1/30

H01J 9/02

H01J 19/24

H01J 21/10

H01J 29/04

H01J 31/12

JICSTファイル(JOIS)